·论著·

双任务对后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者步行能力的影响研究

尹苗苗[1]，崔立玲[1]，李雅晴[1]，王利群[1]，张玥[1*]，巫嘉陵[2*]

【摘要】 **背景** 后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者常无明显的肢体瘫痪，眩晕、头晕症状改善后具备一定的行走能力，但跌倒风险高，临床缺乏对其步行能力的关注。双任务模式的功能评估能更好的发现患者潜在的步态异常，为早期康复干预提供依据。**目的** 探究双任务对后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者步行能力的影响。**方法** 选取2021年1月—2022年12月在天津市环湖医院神经内科住院治疗的后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者为研究对象。采用单任务步行、运动–运动双任务步行、认知–运动双任务步行模式，采集患者步态参数，包括步速、步频、步幅、双支撑相时间占比、步长时间、躯干冠状面、矢状面摆动角度，比较3种任务条件下患者的步态参数差异，同时比较两种双任务步行下双任务成本差异。**结果** 与单任务步行比较，患者进行运动–运动双任务步行时，躯干冠状面、矢状面摆动角度减小（$P<0.05$）；在进行认知–运动双任务步行时，步速降低、步幅缩短、双支撑相时间占比延长，躯干冠状面摆动角度增加（$P<0.05$）；与运动–运动任务比，认知–运动任务的步速双任务成本、双支撑相时间占比双任务成本增加（$P<0.05$）。**结论** 双任务导致后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者步态稳定性下降，且认知–运动双任务比运动–运动双任务需要消耗更多的注意力资源，更容易出现步态障碍。

【关键词】 卒中；脑梗死；前庭症状；步态；双任务；双任务成本

【中图分类号】 R 743 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0229

【引用本文】 尹苗苗，崔立玲，李雅晴，等.双任务对后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者步行能力的影响研究［J］.中国全科医学，2023.［Epub ahead of print］.DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0229.［www.chinagp.net］

YIN M M，CUI L L，LI Y Q，et al. Effect of dual task on walking ability in posterior circulation ischemic stroke patients with vestibular symptoms［J］. Chinese General Practice，2023.［Epub ahead of print］.

Effect of Dual Task on Walking Ability in Posterior Circulation Ischemic Stroke Patients with Vestibular Symptoms

YIN Miaomiao[1]，CUI Liling[1]，LI Yaqing[1]，WANG Liqun[1]，ZHANG Yue[1]，WU Jialing[2*]*

1.Department of Rehabilitation Medicine，Tianjin Huanhu Hospital，Tianjin 300350，China

2.Department of Neurology，Tianjin Huanhu Hospital，Tianjin 300350，China

[*]Corresponding authors：ZHANG Yue，Associate professor/Associate chief physician；E-mail：damoon325@hotmail.com

WU Jialing，Professor/Chief physician；E-mail：wywjl2009@hotmail.com

【Abstract】 **Background** Posterior circulation ischemic stroke patients with vestibular symptoms usually do not present with obvious limb paralysis with certain walking ability after improvement of dizziness and vertigo symptoms，however，their fall risk is high and clinical attention to walking ability is lacking. Functional assessment using dual-task paradigms can better detect potential gait abnormalities in patients and provide a basis for early rehabilitation intervention. **Objective** To investigate the effect of dual task on walking ability of posterior circulation ischemic stroke patients with vestibular symptoms. **Methods** Patients diagnosed with posterior circulation ischemic stroke accompanied by vestibular symptoms and treated at Tianjin Huanhu Hospital from January 2021 to December 2022 were selected as the study subjects. Gait parameters including gait speed，step frequency，step size，proportion of double support phase time，step duration，trunk coronal plane and sagittal plane swing angles were collected using single-task walking，motor-motor dual-task walking，and cognitive-motor dual-task walking paradigms. The differences in gait parameters among the three task conditions and the differences in dual-task costs between the two dual-task walking. **Results** Compared to single-task walking，the trunk coronal plane and sagittal plane swing angles were

基金项目：天津市科技计划项目（21JCYBJC00420）；天津市医学重点学科（专科）建设项目（TJYXZDXK-052B）

1.300350 天津市环湖医院康复医学科 2.300350 天津市环湖医院神经内科

[*]通信作者：张玥，副教授/副主任医师；E-mail：damoon325@hotmail.com

巫嘉陵，教授/主任医师；E-mail：wywjl2009@hotmail.com

本文数字出版日期：2023-06-28

decreased in patients during motor-motor dual-task walking（$P<0.05$）; the gait speed and step size were increased, proportion of double support phase time and trunk coronal plane swing angle were increased in patients during cognitive-motor dual-task walking（$P<0.05$）. Compared to motor-motor dual-task walking, the dual-task costs of cognitive-motor dual-task walking in terms of gait speed and the proportion of double support phase time were increased（$P<0.05$）. **Conclusion** Dual task leads to decreased gait stability in posterior circulation ischemic stroke patients with vestibular symptoms. Additionally, cognitive-motor dual-task walking requires more attentional resources and is more likely to result in gait disturbances compared to motor-motor dual-task walking.

【**Key words**】 Stroke; Brain infarction; Vestibular symptoms; Gait; Dual-task; Dual-task cost

国外流行病学资料显示后循环缺血性脑卒中占缺血性脑卒中的20%~25%，其中30%~60%的患者出现头晕/眩晕、平衡步态异常等前庭症状[1-2]。脑卒中伴前庭症状常见于由后循环供血的小脑或脑干卒中，以眩晕和头晕、前庭-视觉症状、姿势不稳为主要临床表现。这类患者常没有明显的肢体瘫痪，眩晕、头晕症状改善后虽然具备一定的行走能力，但跌倒风险高。因此，寻找简便、易行且可有效评估患者步行能力的方法，以便及时干预存在的功能障碍，对预防跌倒发生十分重要。近年来，双任务被广泛用于评估注意力分散时的运动表现和步态控制，应用于中风、帕金森病和痴呆等疾病的研究中[3]。目前已证实双任务模式的功能评估能更好地发现患者潜在的步态异常[4-5]。但双任务评估在中枢前庭疾病步行中的研究鲜有报道。本研究应用三维步态分析系统比较后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者在单任务、运动-运动双任务和认知-运动双任务步行时的步态特征，探索双任务步行对该类患者步行能力的潜在影响，为跌倒预防及康复干预提供参考依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选择2021年1月—2022年12月在天津市环湖医院神经内科住院治疗的后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者为研究对象。本研究经天津大学环湖医院道德伦理委员会审核批准［〔（津环）伦审第（2021-020）号］，所有受试者及其家属对研究项目知情同意并签署知情同意书。

1.2 纳入标准 （1）脑卒中诊断符合《中国各类主要脑血管病诊断要点2019》[6]的标准，并经颅脑MRI检查证实；（2）后循环缺血性脑卒中患者符合Barany学会前庭疾病国际分类（ICVD）[7]中前庭症状分类标准；（3）首次发病；（4）年龄为30~60岁；（5）病程5~14 d；（6）均为右利手；（7）能够在无支撑条件下独立行走10 m，且功能性步行能力量表（FAC）评分≥3分。排除标准：（1）双侧或单侧多发病灶脑卒中，以及经颅脑MRA、CT血管成像（CTA）或脑血管造影（DSA）等影像学检查证实为颅内外大血管重度狭窄或动脉夹层者；（2）外周前庭功能障碍及听力下降者；（3）颈内动脉系统供血区梗死者；（4）本体感觉障碍或合并严重心、肺、肝、肾等重要脏器疾病或骨科疾病者；（5）复发性脑卒中、颅内肿瘤、脑血管畸形或脑白质高信号（Fazekas评分>1分）者[8]；（6）具有认知功能障碍、偏侧忽略、失语等无法配合完成测试的患者。

1.3 研究方法 正式开始测试时，先以常速步行，然后再进行双任务步行能力测试，每项步行任务进行3次，每种任务之间休息2 min。

1.3.1 单任务 要求患者以最舒适的速度在10 m的走道上自然来回行走。

1.3.2 双任务 （1）运动-运动双任务步行：嘱患者双手端盘，盘中放一小球，沿10 m的走道来回行走，保证盘中的小球不能掉落，如小球掉落则重新进行。（2）认知-运动双任务步行：在步行过程中嘱患者进行连续减法任务，从100开始持续减7，并大声说出结果。

1.3.3 步态分析测试 采用OPAL可穿戴传感器（美国APDM公司）和Mobility Lab软件（https://apdm.com/wearable-sensors/）对所有患者进行步行测试，共计6个惯性测量单元，传感器分别佩戴于胸骨柄、第五腰椎，以及双侧手腕和足背。传感器自动记录步态空间参数（步幅、步速）和时间参数（步频、步长、双支撑相时间），以及躯干冠状面、矢状面摆动角度。同时，按照以下公式进一步计算双任务成本（dual-task costs，DTC）=［（双任务-单任务）/单任务］×100%[9]。较高的DTC表示完成单任务的性能较差，而较低的DTC表示完成单任务性能更好。

1.4 统计学方法 采用SPSS 23.0统计软件进行数据处理与分析。计数资料以相对数表示，组间比较采用χ^2检验。正态性检验采用Shapiro-Wilk检验，呈正态分布的计量资料以（$\bar{x}\pm s$）表示，多组间比较采用单因素方差分析，组间两两比较采用LSD-t检验；双任务成本比较行配对t检验；以$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 本研究纳入后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者共40例，男30例，女10例；年龄18~60岁，平均（48.5±8.8）岁；平均BMI为（33.4±3.1）kg/m²；受教育程度为6~15年，平均为（11.7±2.87）年；病程5~14 d，平均为（10±2）d；入院时美国国立卫生

研究院卒中量表（NIHSS）评分为 0~3 分，中位值 1.00（1.00，2.00）分；既往合并高血压 30 例（75.0%）、冠心病 10 例（25.0%）、糖尿病 15 例（37.5%）、高脂血症 8 例（20.0%）、吸烟 9 例（22.5%）、饮酒 6 例（15.0%）。

2.2 患者单、双任务步行中步行参数比较 患者进行单、双任务步行时的步速、双支撑相时间占比、躯干冠状面摆动角度、躯干矢状面摆动角度比较，差异有统计学意义（$P<0.05$）。与单任务步行相比，患者进行运动－运动双任务步行时躯干冠状面、矢状面摆动角度变小，差异有统计学意义（$P<0.05$）；与单任务步行相比，患者进行认知－运动双任务步行时步速降低、步幅缩短、双支撑相时间占比延长、躯干冠状面摆动角度增加，差异有统计学意义（$P<0.05$），见表 1。

表 1 患者在单、双任务步行下的步态参数比较（$\bar{x}\pm s$，N=40）

Table 1 Comparison of gait parameters of patients under single-task and dual-task conditions

	步速（m/s）	步频（步 /min）	步幅（m）	步长时间（s）	双支撑相时间占比（%）	躯干冠状面摆动角度	躯干矢状面摆动角度
单任务步行	0.80 ± 0.20	105.89 ± 13.90	0.90 ± 0.17	0.56 ± 0.08	26.33 ± 5.61	4.41° ± 1.43°	4.30° ± 1.04°
运动－运动双任务步行	0.71 ± 0.17	108.25 ± 11.96	0.87 ± 0.20	0.58 ± 0.07	26.38 ± 5.01	3.00° ± 1.06°[a]	3.61° ± 0.72°[a]
认知－运动双任务步行	0.66 ± 0.17[a]	103.72 ± 12.23	0.81 ± 0.19[a]	0.60 ± 0.08[a]	29.60 ± 5.27[a]	5.36° ± 2.01°[a]	4.59° ± 0.92°
F 值	4.674	0.996	1.998	2.774	4.242	19.205	10.180
P 值	0.012	0.373	0.141	0.067	0.017	<0.001	<0.00 1

注：[a] 表示与单任务步行比较 $P<0.05$。

2.3 不同双任务下患者 DTC 比较 在双任务条件下，患者进行运动－运动双任务步行与认知－运动双任务时步速 DTC、双支撑相时间占比 DTC 比较，差异有统计学意义（$P<0.05$），余指标比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$），见表 2。

表 2 不同双任务下患者 DTC 任务间比较（$\bar{x}\pm s$，N=40）

Table 2 Comparison of dual-task costs between the two dual-task walking

DTC 项目	运动－运动双任务步行	认知－运动双任务步行	$t_{配对}$值	P 值
步速 DTC	−9.90 ± 8.96	−17.00 ± 12.47	2.657	0.010
步频 DTC	2.73 ± 7.99	1.48 ± 9.96	1.896	0.062
步幅 DTC	−3.54 ± 14.02	−9.78 ± 14.19	1.798	0.077
步长时间 DTC	3.91 ± 8.94	8.69 ± 12.34	−1.804	0.076
双支撑相时间占比 DTC	0.75 ± 11.45	14.55 ± 18.71	−3.613	0.001

注：DTC= 双任务成本。

3 讨论

人体姿势平衡的正常维持依赖于感觉系统输入、中枢神经系统的整合及运动系统输出。感觉输入主要依靠完整的“平衡三联”（即前庭觉、视觉、本体觉）共同作用，从而感知人在空间中的状态和位置，其中前庭觉是通过提供头部在空间的线性和角加速度信号，调整躯体姿势和眼球运动，在日常生活的高频运动及动态姿势平衡调节中起重要作用[10]。前庭系统信息损伤后，可出现姿势不稳和步态异常[11]。椎基底动脉系统供血区梗死致中枢前庭结构任何部位受损均可导致眩晕、头晕、姿势不稳等前庭症状[12]。由于后循环卒中发生神经功能恶化的风险高，患者急性期眩晕、头晕、恶心呕吐等症状明显，常以卧床为主，待患者出院后表现出步行能力降低，影响患者的日常生活活动能力和社会生活能力。因此，需要早期识别这些患者的步行功能障碍并早期干预，预防跌倒的发生。双任务是指执行两个或两个以上的运动或认知任务同时可以保持身体姿势稳定，这需要患者合理分配注意力才能同时进行，更能反映日常生活中的活动。既往研究显示，双任务步行比单任务步行能更好地反映日常生活活动能力，当健康人执行注意力双任务时，其步态特征会发生改变[13-14]。同时，双任务评估相比于传统心理学测试的认知评估可更客观、高效地评估认知功能的水平[15-16]。由此可见，双任务评估对于早期发现患者潜在的功能障碍具有重要作用。

本研究结果显示，与单任务步行相比，后循环缺血性脑卒中伴前庭症状患者在执行认知—运动双任务步行时步态性能降低，包括步速降低、步幅缩短、双支撑相时间和躯干冠状面摆动角度延长。表明双任务状态下患者的步态功能障碍会更加凸显，这与 TSANG 等[17]研究一致。有研究对 14 名正常健康人和 5 名双侧前庭病患者睁闭眼站立姿势下行多方向干扰，探讨前庭信息缺失对于腿部和躯干肌肉早期拉伸、平衡纠正、稳定反应方向灵敏度、时序和幅度以及多方向旋转干扰后踝关节扭矩和躯干角速度的影响，发现前庭系统对矢状面的影响更早，并且主要作用于腿部肌肉，而对冠状面控制的影响则较晚，主要作用于躯干肌肉[18]。推测本研究脑卒中伴前庭症状患者由于前庭信息受损出现躯干冠状面摆动角度大于躯干矢状面摆动角度。步态周期中双支撑相的最后 100 ms 内要完成主动迈步和足位置准确放置，这主要是通过前庭系统来完成[19]。当前庭信息受损就会导致步行周期中双支撑相时间延长。人体在运动过程中保持动态平衡，即在扰动后恢复到默认运动模式的能

力，依赖于脊髓和脊髓上运动网络之间的复杂相互作用以及来自前庭、视觉和本体感受系统的感觉反馈信息。特别是需要前庭反馈来调整预期的运动模式以适应内部和外部干扰，当头部转动、身体转向等信息不能被前庭器官感受到，患者不能及时应对出现的变化就会导致步态和姿势不稳[20]。既往研究发现，前庭系统损害导致前庭信息利用与整合障碍，在步行中主要步态参数差异为双支撑相时间延长、冠状面上的控制能力降低[21]。此外，有研究显示，双侧前庭病患者的步态模式特征为躯干摆动增加、步长缩短、双支持相时间延长和时空步态变异性增加[22]。特别是在双任务条件下，双侧前庭病患者比健康受试者更容易表现出姿势和步态障碍[23]。本研究结果与之一致，后循环脑卒中伴前庭症状患者在双任务模式下步态表现发生明显变化，特别是双支撑相时间占比和躯干摆动角度。本研究中运动－运动双任务中的次级任务为手持托盘，由于双上肢固定托盘，限制了躯干及上肢的协调运动，为了维持手在空间中的稳定，导致躯干冠状面、矢状面摇摆降低，与 NORDIN 等[24]研究结果一致。

同时执行运动和认知任务时，会导致其中一项或两项任务性能的变化，出现双任务干扰（dual-task interference，DTI），反映了两种任务对大脑内有限处理资源的竞争。特别是当疾病导致可用的注意力资源减少或者由于运动感觉障碍而需要增加注意力来执行常规任务时，DTI 更明显。本研究中，脑卒中伴前庭症状患者需要更多的注意力资源来应对步行期间不平衡的前庭信息输入，从而导致运动感觉统合中断，出现步态参数的异常，突出表现为步速显著下降。通过降低速度以提高姿势稳定性，这是避免失衡和跌倒的常用策略。既往研究证实，感觉反馈对运动控制的影响取决于步态速度，并随着运动速度的增加而降低[25]。功能影像也证实，正常健康人在跑步和快走过程中，感觉皮层区域的激活减少[26]。因此，感觉反馈主要用于缓慢运动期间的平衡控制。研究发现，视觉、本体感觉和前庭觉等感觉缺陷患者在慢速模式下的步态变异性增加通常较强，而快速模式下的平衡调节较少依赖于感觉反馈控制，步态波动相对小[27-28]。本研究结果也显示，前庭障碍的患者在双任务条件下步速显著下降，而在慢速行走过程中由于前庭觉输入缺失、感觉反馈受损，患者很难充分稳定步态，表现出明显的步态异常。

DTC 提供了一种测量方法，量化了对认知资源的需求，反映了步行运动控制中的认知成分[29]。部分研究提示脑卒中早期阶段可能需要大部分注意力资源维持患者的运动表现，因而没有足够的资源用于维持同时进行的认知任务[30]，所以认知－运动双任务会导致认知表现更差，而认知成本的增加会直接导致跌倒风险的增加。另外，研究发现，双任务测试时的表现与个体分配注意力资源的能力有关，取决于双任务的性质和难度[31]。有研究推测，运动任务和认知任务占据不同的注意力资源，可能认知任务涉及较多的注意力资源参与，而运动任务则部分涉及自动化调整过程[32]。本研究中托盘任务不够复杂而无法达到负面影响表现所需要的注意力阈值，对步态参数的影响未见显著差异；而连续减法任务，需要消耗更多的注意力资源，严重影响患者的步态稳定性。还有研究显示步行时拿空水杯跟单任务步行相比步速下降未见统计学差异，而装有水的水杯则影响步态的稳定性[33-34]。因此，不同的次级任务及任务难度会对注意力资源产生不同的需求，从而对步态和注意力成本产生不同程度的影响。本研究结果显示，在双任务成本的变化中，认知－运动双任务时步速和双支撑相时间占比 DTC 高于运动－运动 DTC，结果表明额外认知－运动双任务比运动－运动任务会更明显的消耗患者的注意力资源，更能发现患者的步态异常，因此，认知的参与在患者步行模式变化中起着重要作用，不同的双任务对患者的步态影响不同。赵依双等[35]对 16 例健康志愿者进行连续减法任务和言语流畅任务的双任务步行发现，由于执行连续减法任务时激活双侧下顶叶神经网络的活动，而言语流畅任务只激活左下额叶皮质和辅助运动区的神经网络，因此，连续减法任务需要更多的注意力资源出现认知－运动相互干扰模式。对双任务神经机制的影像学研究发现两个相似的任务所激活的重叠区域越大，其两项任务间的资源竞争越激烈[36]。功能性近红外脑成像技术研究发现，执行功能是由前额叶皮层和顶叶皮层组成的网络共同调节的，额叶皮质的活动增强与行走能力的提高有关，顶叶皮层与高级前庭功能相关，未来研究前庭功能障碍患者双任务加工的执行功能时，可以做功能连通性分析等，从大脑网络的角度对双任务执行功能进行分析，满足患者个体化精准化康复需求[37-38]。近年来，越来越多的文献证明基于步行的双任务训练可降低脑卒中患者双任务成本，且对步态及平衡改善的效果优于常规康复训练[39]。双任务训练可以使认知资源的分配策略得到优化，当主要任务对注意资源的需求减少时，就有更多的注意资源分配给次要任务，增加任务间的协调性，改善患者的步态平衡功能。目前对于脑卒中伴前庭症状患者的双任务训练的方案还需要进一步探究。

综上所述，与单任务相比，双任务条件下的步态评估，特别是认知－运动双任务评估可能是更有效地发现后循环卒中伴前庭症状患者步态异常的评估指标，也更适用于患者的康复训练计划。另外，本研究存在一定的局限性：样本量较少，不是连续入组患者，可能存在选择偏倚；另外本研究没有对影响步态的关节动力学参数

进行探索。未来尚待进一步扩大样本量，增加不同认知任务、不同难度任务等次级任务进行双任务研究，同时需增加影像学评估，寻找适合前庭功能障碍患者的双任务训练方案，为前庭功能障碍患者提供新的治疗策略。

作者贡献：尹苗苗提出研究构思，负责试验实施，观察指标的测量与数据收集，撰写论文初稿与修订；崔立玲、李雅晴、王利群负责试验实施与评估，观察指标的数据收集；张玥、巫嘉陵负责文章的质量控制及审校，对文章整体进行监督管理；所有作者确认了论文终稿。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] EL-SHERIF M，ESMAEL A，ELAZZOUNY A. A comparative clinical study of the characteristics of patients with posterior and anterior circulation ischemic strokes［J］. Egypt J Neurol Psychiatry Neurosurg，2016，53（2）：65. DOI：10.4103/1110-1083.183404.

[2] CHOI K D，LEE H，KIM J S. Ischemic syndromes causing dizziness and vertigo［J］. Handb Clin Neurol，2016，137：317-340. DOI：10.1016/B978-0-444-63437-5.00023-6.

[3] 李沁议，罗思仪，蒋咏春，等. 双任务范式在中枢神经疾病中的应用及研究［J］. 康复学报，2022，32（5）：462-470. DOI：10.3724/SP.J.1329.2022.05012.

[4] TSANG C S L，CHONG D Y K，PANG M Y C. Cognitive-motor interference in walking after stroke：test-retest reliability and validity of dual-task walking assessments［J］. Clin Rehabil，2019，33（6）：1066-1078. DOI：10.1177/0269215519828146.

[5] TSANG C S L，PANG M Y C. Association of subsequent falls with evidence of dual-task interference while walking in community-dwelling individuals after stroke［J］. Clin Rehabil，2020，34（7）：971-980. DOI：10.1177/0269215520923700.

[6] 中华医学会神经病学分会，中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019［J］. 中华神经科杂志，2019，52（9）：710-715. DOI：10.3760/cma.j.issn.1006?7876.2019.09.003.

[7] BISDORFF A，VON BREVERN M，LEMPERT T，et al. Classification of vestibular symptoms：towards an international classification of vestibular disorders［J］. J Vestib Res，2009，19（1/2）：1-13. DOI：10.3233/VES-2009-0343.

[8] FAZEKAS F，CHAWLUK J B，ALAVI A，et al. MR signal abnormalities at 1.5 T in Alzheimer's dementia and normal aging［J］. AJR Am J Roentgenol，1987，149（2）：351-356. DOI：10.2214/ajr.149.2.351.

[9] CHEN Y L，PEI Y C. Musical dual-task training in patients with mild-to-moderate dementia：a randomized controlled trial［J］. Neuropsychiatr Dis Treat，2018，14：1381-1393. DOI：10.2147/NDT.S159174.

[10] CULLEN K E. The vestibular system：multimodal integration and encoding of self-motion for motor control［J］. Trends Neurosci，2012，35（3）：185-196. DOI：10.1016/j.tins.2011.12.001.

[11] SNIJDERS A H，VAN DE WARRENBURG B P，GILADI N，et al. Neurological gait disorders in elderly people：clinical approach and classification［J］. Lancet Neurol，2007，6（1）：63-74. DOI：10.1016/S1474-4422(06)70678-0.

[12] SOMMER P，POSEKANY A，SERLES W，et al. Is functional outcome different in posterior and anterior circulation stroke?［J］. Stroke，2018，49（11）：2728-2732. DOI：10.1161/STROKEAHA.118.021785.

[13] 马芮，夏翠俏，赵弘轶，等. 老年脑小血管病患者双重任务行走步态特征［J］. 中华老年心脑血管病杂志，2020，22（3）：292-295. DOI：10.3969/j.issn.1009-0126.2020.03.018.

[14] LIN M I B，HUANG Y P. The impact of walking while using a smartphone on pedestrians' awareness of roadside events［J］. Accid Anal Prev，2017，101：87-96. DOI：10.1016/j.aap.2017.02.005.

[15] ZHOU H，SABBAGH M，WYMAN R，et al. Instrumented trail-making task to differentiate persons with No cognitive impairment，amnestic mild cognitive impairment，and alzheimer disease：a proof of concept study［J］. Gerontology，2017，63（2）：189-200. DOI：10.1159/000452309.

[16] 王鑫，林春，周洪雨，等. 双重任务行走步态分析预测短暂性脑缺血发作患者认知功能障碍的发生［J］. 中华物理医学与康复杂志，2019，41（7）：507-511.

[17] TSANG C S L，PANG M Y C. Association of subsequent falls with evidence of dual-task interference while walking in community-dwelling individuals after stroke［J］. Clin Rehabil，2020，34（7）：971-980. DOI：10.1177/0269215520923700.

[18] CARPENTER M G，ALLUM J H，HONEGGER F. Vestibular influences on human postural control in combinations of pitch and roll planes reveal differences in spatiotemporal processing［J］. Exp Brain Res，2001，140（1）：95-111. DOI：10.1007/s002210100802.

[19] PICCOLO C，BAKKUM A，MARIGOLD D S. Subthreshold stochastic vestibular stimulation affects balance-challenged standing and walking［J］. PLoS One，2020，15（4）：e0231334. DOI：10.1371/journal.pone.0231334.

[20] SCHNIEPP R，MÖHWALD K，WUEHR M. Gait ataxia in humans：vestibular and cerebellar control of dynamic stability［J］. J Neurol，2017，264（Suppl 1）：87-92. DOI：10.1007/s00415-017-8482-3.

[21] 张玥，尹苗苗，李雅晴，等. 伴前庭症状与不伴前庭症状的脑卒中患者步行与静态站立特征分析［J］. 中国现代神经疾病杂志，2022，22（11）：965-972. DOI：10.3969/j.issn.1672-6731.2022.11.008.

[22] SCHNIEPP R，SCHLICK C，SCHENKEL F，et al. Clinical and neurophysiological risk factors for falls in patients with bilateral vestibulopathy［J］. J Neurol，2017，264（2）：277-283. DOI：10.1007/s00415-016-8342-6.

[23] BESSOT N，DENISE P，TOUPET M，et al. Interference between walking and a cognitive task is increased in patients with bilateral vestibular loss［J］. Gait Posture，2012，36（2）：319-321. DOI：10.1016/j.gaitpost.2012.02.021.

[24] NORDIN E，MOE-NILSSEN R，RAMNEMARK A，et al. Changes in step-width during dual-task walking predicts falls［J］. Gait Posture，2010，32（1）：92-97. DOI：10.1016/j.gaitpost.2010.03.012.

[25] BRANDT T，STRUPP M，BENSON J. You are better off running

than walking with acute vestibulopathy［J］. Lancet，1999，354（9180）：746. DOI：10.1016/S0140-6736(99)03179-7.

［26］JAHN K，DEUTSCHLÄNDER A，STEPHAN T，et al. Imaging human supraspinal locomotor centers in brainstem and cerebellum［J］. Neuroimage，2008，39（2）：786-792. DOI：10.1016/j.neuroimage.2007.09.047.

［27］SCHNIEPP R，MÖHWALD K，WUEHR M. Clinical and automated gait analysis in patients with vestibular，cerebellar，and functional gait disorders：perspectives and limitations［J］. J Neurol，2019，266（Suppl 1）：118-122. DOI：10.1007/s00415-019-09378-x.

［28］MCCRUM C，LUCIEER F，VAN DE BERG R，et al. The walking speed-dependency of gait variability in bilateral vestibulopathy and its association with clinical tests of vestibular function［J］. Sci Rep，2019，9（1）：18392. DOI：10.1038/s41598-019-54605-0.

［29］HAUSDORFF J M，SCHWEIGER A，HERMAN T，et al. Dual-task decrements in gait：contributing factors among healthy older adults［J］. J Gerontol A Biol Sci Med Sci，2008，63（12）：1335-1343. DOI：10.1093/gerona/63.12.1335.

［30］HERMAND E，TAPIE B，DUPUY O，et al. Prefrontal cortex activation during dual task with increasing cognitive load in subacute stroke patients：a pilot study［J］. Front Aging Neurosci，2019，11：160. DOI：10.3389/fnagi.2019.00160.

［31］HUNTER S W，DIVINE A，FRENGOPOULOS C，et al. A framework for secondary cognitive and motor tasks in dual-task gait testing in people with mild cognitive impairment［J］. BMC Geriatr，2018，18（1）：202. DOI：10.1186/s12877-018-0894-0.

［32］ST-AMANT G，RAHMAN T，POLSKAIA N，et al. Unveilling the cerebral and sensory contributions to automatic postural control during dual-task standing［J］. Hum Mov Sci，2020，70：102587. DOI：10.1016/j.humov.2020.102587.

［33］BORGES S D，RADANOVIC M，FORLENZA O V. Functional mobility in a divided attention task in older adults with cognitive impairment［J］. J Mot Behav，2015，47（5）：378-385. DOI：10.1080/00222895.2014.998331.

［34］TOULOTTE C，THEVENON A，WATELAIN E，et al. Identification of healthy elderly fallers and non-fallers by gait analysis under dual-task conditions［J］. Clin Rehabil，2006，20（3）：269-276. DOI：10.1191/0269215506cr929oa.

［35］赵依双，周亚楠，公维军，等. 双任务步行对缺血性卒中患者认知-运动干扰的影响研究［J］. 中国卒中杂志，2021，16（3）：230-235. DOI：10.3969/j.issn.1673-5765.2021.03.003.

［36］OHZUNO T，USUDA S. Cognitive-motor interference in post-stroke individuals and healthy adults under different cognitive load and task prioritization conditions［J］. J Phys Ther Sci，2019，31（3）：255-260. DOI：10.1589/jpts.31.255.

［37］谭金凤，伍姗姗，徐雷，等. 前额叶皮层与双任务加工执行功能［J］. 心理科学进展，2013，21（12）：2127-2135. DOI：10.3724/SP.J.1042.2013.02127.

［38］JACOB A，TWARD D J，RESNICK S，et al. Vestibular function and cortical and sub-cortical alterations in an aging population［J］. Heliyon，2020，6（8）：e04728. DOI：10.1016/j.heliyon.2020.e04728.

［39］张雪伊，刘瑞姣，许峰，等. 基于步行的双任务训练对脑卒中患者步态及平衡影响的 meta 分析［J］. 中国康复医学杂志，2022，37（1）：90-96. DOI：10.3969/j.issn.1001-1242.2022.01.017.

（收稿日期：2023-03-16；修回日期：2023-06-02）

（本文编辑：宋春梅）